云 南 植 物 研 究 2009, 31 (6): 529～536
Acta Botanica Yunnanica DOI: 10.3724 SP. J. 1143. 2009. 09137

四川小相岭山系植被景观的斑块特征分析

胡翠华[1]，黄尤优[2,3]，刘守江[1]，许武成[1]
(1 西华师范大学国土资源学院，四川 南充 637002；2 西华师范大学生命科学学院，四川 南充 637002；
3 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室，四川 南充 637002)

摘要：利用 3S 技术与景观生态学相结合的方法，分别从斑块的基本特征、形状特征、聚集与散布特征以及多样性特征 4 个方面对四川小相岭山系的植被景观空间格局进行了详细分析。研究结果表明：1）该山系存在 9 种植被类型，斑块数为 1 849，斑块面积约 186 951 hm^2。其中，针阔叶混交林分布面积与密度最大，是山系的基质植被类型；而次生落叶阔叶林面积最少，景观地位最弱。2）常绿落叶阔叶混交林形状最为简单，但聚集度高；而针阔叶混交林形状最不规则，边界最为复杂；另外，次生落叶阔叶林连接性最弱，高山草甸斑块聚集程度最高。3）该山系斑块的多样性、优势度、均匀度指数值分别为 1.54、0.66 和 0.67，植被类型丰富多样、植被错综复杂、各植被斑块间镶嵌度较好。

关键词：景观分析法；植被景观；景观指数；小相岭山系
中图分类号：Q 149，Q 948.15 **文献标识码**：A **文章编号**：0253 - 2700 (2009) 06 - 529 - 08

Analysis on the Patch Characteristics of Vegetation Landscape of Xiaoxiangling Mountains in Sichuan Province

HU Cui-Hua[1]，HUANG You-You[2,3]，LIU Shou-Jiang[1**]，XU Wu-Cheng[1]
(1 *Land and Resources College*，*China West Normal University*，Nanchong 637002，China；2 *College of Life Sciences*，*China West Normal University*，Nanchong 637002，China；3 *Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation*，*Ministry of Education*，Nanchong 637002，China)

Abstract: The spatial pattern characters of vegetation landscape of Xiaoxiangling Mountains in Sichuan were meticulously analyzed in four respects, that is, the basic characteristics, the shape characteristics, the aggregation and interspersion characteristics and the diversiform characteristics of patches, by the method of 3S technology combined with Landscape ecology . Our results indicate that: (1) there are 9 vegetation types in these Mountains with 1 849 number of patch, 18 6951 hm^2 areas . Coniferous and broad-leaved mixed forest is the background of the area because of its biggest distribution area and densest inlaid there; Secondary deciduous broad-leaved forest is of the lowest heterogeneity degree for its smallest area . (2) Evergreen broad-leaved and deciduous broad-leaved mixed forest is of the most simply shape, and high degree of patch aggregation . But Coniferous and broad-leaved mixed forest is of the most complicated of both patch shape and edge . Besides, secondary deciduous broad-leaved forest is of its least connectivity, and alpine shrub is of the highest degree of patch aggregation . (3) These Mountains′species richness, dominance and diversity are 1.54, 0.66 and 0.67 . It is found to be the main features of the vegetation landscape and the inlaid degree of each vegetation types is better in Mountains .

Key words: Landscape structure analysis; Vegetation landscape; Landscape Index; Xiaoxiangling Mountains

---

基金项目：四川省教育厅青年基金项目 (2002B18)；四川省重点学科建设项目 (SZD0420)
通讯作者：Author for correspondence
收稿日期：2009 - 07 - 20，2009 - 10 - 15 接受发表
作者简介：胡翠华 (1976 -) 女，硕士，从事生态与环境科学研究。E-mail: hucui.h@163.com; Tel: 15882658630

景观格局分析是研究景观结构组成特征及空间配置的方法，是景观功能与动态分析的基础（Navech and Lieberman，1984）。随着地理信息系统（GIS）、遥感技术（RS）以及全球定位系统（GPS）的高速发展，使景观格局的数量分析成为必然。3S与景观生态学相结合，使其在研究宏观尺度上的景观结构、功能、动态的方法上发生显著的变化（Wu等，2002；Wu，2004；Mander and Jongman，1998；张利权等，2004），大大开辟了景观格局分析的应用领域，如野生动物栖息地保护、城市景观格局变化、土壤侵蚀格局演变等方面（Luck and Wu，2002；全川等，2003；孙丹峰，2003；毕晓丽，2005），但在研究方法上局限于对斑块形状特征（刘灿然和陈灵芝，2004）、空间关联分析（江永华和陈北光，2003）以及镶嵌结构的研究（黄和平，2006）等。本文在此基础之上综合斑块的基本特征、形状特征、聚集与散布特征以及多样性特征4个方面对四川小相岭山系森林植被景观的斑块特征进行全方位的定量分析。

小相岭山系是我国特有珍稀濒危物种大熊猫种群数量最少的山系之一，栖息地内的森林大多被采伐，残存的原始林不多，栖息地片段化严重，需加强保护（胡锦矗，1990）。众多学者对该区域的研究着重于对珍稀野生动物特别是大熊猫的相关研究，而作为这一森林生态系统基本而重要组成部分的植物资源研究较少，其不仅可为濒危动物提供食物和栖息场所，而且对维护山系的生物多样性、保持水土、改善生态环境具有重要的作用。为了有效的保护和利用山系的植物资源，全面了解大熊猫栖息地的植被现状，填补3S技术在小相岭森林资源调查研究方面的空白，本文针对区域内的植被景观进行数字化定量分析，以期为该区域生态旅游开发以及珍稀濒危物种生态环境的进一步改善和恢复提供重要指导意义。

1 研究区域概况

小相岭位于四川省西南部（E102°12′～105°52′，N28°18′～29°20′）冕宁县、喜德县、越西县的交界处，地处横断山脉东缘，大部分区域海拔4 000 m以上，为越西河与安宁河的上游及发源地。该山系地势南北走向，东北高，西南低，长约100 km，主峰铧头尖海拔4 791 m。该地区地形切割破碎，起伏跌宕，垂直高差大，区内最高海拔则尔山高达5 299 m，最低海拔大洪沟板栗树沟1 330 m，最大相对高差达3 969 m，平均相对高差大于2 000 m。地貌以中高山为主，辖区属雪山高原区，四面环山，林海浩瀚，牧场广袤，山脊高程3 500～4 700 m之间。山间谷地略成小盆地，盆地海拔高程在2 100～2 400 m之间（易朝路和景才瑞，1989）。

2 研究方法

2.1 地面植被调查

调查组分别于2006年7月13日至8月7日、2008年7月20日至8月26日对山系植被现状进行地面调查。沿山系地势走向，从南至北依次在马鞍山自然保护区、拖乌乡林区、冶勒自然保护区、栗子坪自然保护区内沿海拔梯度自下而上在典型植被类型区域内设置样地，每次调查20个样地，共40个样地。每个样地内设置20 m×20 m乔木样方3个，每个乔木样方内设置5 m×5 m灌木样方6个，每个灌木样方内设置2 m×2 m草本样方9个。从理论与实地定位核实并重的角度建立解译标志，尽可能地避开复杂地形对GPS接收信号的影响，选择不同植被类型的中心位置作为分类的GPS监督点，提取所需要的专题信息，并进行各种属性标注，以便精确获得卫星图片解译的参照点。

2.2 辅助资料的准备

为提高遥感图像的分类的准确性，本研究中分别参考了野外采集的近500个GPS点信息、国家测绘局1∶500000地形图、中国科学院2001年出版的1∶1000000中国植被图集、四川植被协作组联合出版的1∶3000000四川植被类型图等辅助资料。

2.3 数据处理

利用ERDAS、GIS软件，分别对美国陆地资源卫星7号（LANDSAT-7）于2002年4月21日获取的ETM+遥感数据进行假彩色合成，为了准确地反映地表森林植被覆盖信息，合成的波段选用TM3、TM4和TM5波段（傅肃性，2002）。此后，利用ERDAS IMAGINE 9.1软件模块Signature Editor的Evaluation功能建立模板、评价模板、确定初步分类结果、检验分类结果、分类后处理、分类特征统计、栅格矢量转换之后再对其进行监督分类与非监督分类相结合的解译方法最终经地面实测GPS数据以及辅助资料验证和精度评价（党安荣等，2003）后，形成精度为89%的植被类型分布图（图1）。

3 结果与分析

3.1 主要植被类型及植物资源现状

山系全为国有林地，植物种类丰富，植被垂

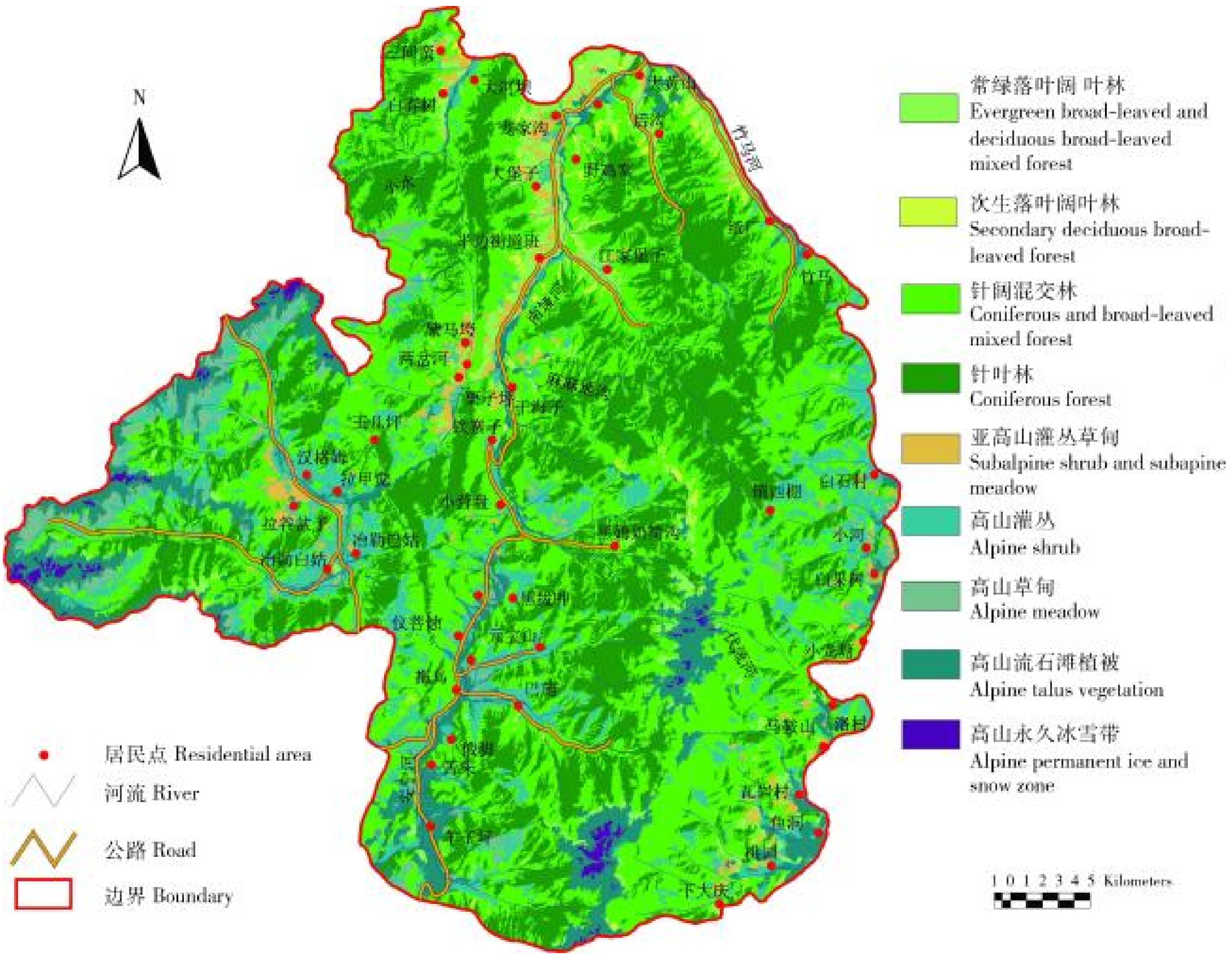

图 1　2002 年小相岭山系植被类型图

Fig. 1　The diagram of vegetation types in Xiaoxiangling Mountains in 2002

直地带分布明显，植物区系为我国温带植物区系成分，森林覆盖率为 70% 左右。经实地调查，主要植被类型及植物资源现状如表 1 所示。

3.2　斑块的基本特征

植被景观斑块的基本特征主要表现为斑块的大小、面积和周长（Baskent and Jordan，1995）。故利用 ArcView GIS 软件的 Patch analyst 模块对植被类型图进行分析，得到该区植被景观的基本特征（表 2）。

由表 2 可知，研究区域内斑块数量共计 1 849 个，总面积约 186 951 hm^2。其中，针阔叶混交林分布面积最大，约 80 710 hm^2，占总面积的 43.17%；其次为针叶林，面积约 52 691 hm^2，占总面积的 28.18%。而次生落叶阔叶林面积最少，仅为 1 145 hm^2，只占总面积的 0.61%。从斑块个数来看，针叶林的斑块数最多，有 451 个，针阔叶混交林、高山灌丛次之，分别有 323、412 个；而高山永久冰雪带的斑块数最少，仅有 39 个；常绿落叶阔叶混交林和亚高山灌丛草甸斑块数仅次于较多斑块数的针阔叶混交林和高山灌丛。结合平均斑块面积看，面积最大的仍是针阔叶混交林，约 249.88 hm^2；其次是针叶林和亚高山灌丛草甸，面积分别为 116.83 hm^2、107.15 hm^2；面积最小的是次生落叶阔叶林，仅为 15.07 hm^2。

从斑块周长与斑块密度来看，针阔叶混交林斑块周长最长，约 11 563.48 km，斑块密度最大，为 34.86；其次为针叶林，斑块周长与密度分别为 7 986.50 km、24.08；而次生落叶阔叶林、高山永久冰雪带的斑块周长与密度最小，分别为 328.32 km、0.99 和 255.87 km、0.77。结合反映斑块优势度高低的最大斑块指数 LPI 以及斑块面积标准差 PSSD、斑块面积变异系数 PSCV 来看，针阔叶混交林值最大，

分别为 6.2、647.32、1 617.51；次生落叶阔叶林、亚高山灌丛草甸、高山草甸、高山永久冰雪带值较小；而常绿落叶阔叶混交林、针叶林、高山灌丛、高山流石滩植被介于它们之间，指数值较高。

综上所述，针阔叶混交林、针叶林、高山灌丛、高山流石滩植被在研究区域的总分布面积和平均斑块面积较大，且斑块数量相对较多，分布范围广泛，是研究区域内的景观主体，而其它植被景观类型则以零星分布的形式散布其间。

3.3 斑块的形状特征

选取反映斑块形状偏离规则圆形程度的 LSI、反映斑块形状复杂程度的 MSI、反映斑块边界复杂程度的 MPFD 以及能在一定程度上反映景观整体特征及受人类干扰程度的 AWMSI 和 AWMPFD (McGarigal and Marks，1995) 来分析山系内植被斑块的形状特征（表3）。

表1 小相岭山系主要植被类型及植物资源现状

Table 1 The representative vegetation types and plant resources situation in Xiaoxiangling Mountains

植被类型 Vegetation types	海拔 Altitude (m)	优势种及主要树种 Dominant and chief species	盖度 Coverage(%)
常绿落叶阔叶林 (A) Evergreen broad-leaved and deciduous broad-leaved mixed forest	2400～2500	细叶青冈 *Cyclobalanopsis gracilis*、槲栎 *Quercus aliene*、野核桃 *Juglans cathayensis* 等	50～70
次生落叶阔叶林 (B) Secondary deciduous broad-leaved forest	2600～2700	野核桃 *Juglans cathayensis*、华西枫杨 *Pterocarya insignis*、大叶杨 *Populus lasiocarpa* 等	50～70
针阔叶混交林 (C) Coniferous and broad-leaved mixed forest	2500～2700	铁杉 *Tsuga chinensi*、麦吊云杉 *Picea brachytyla*、红桦 *Betula albosinensis*、扇叶槭 *Acer caudatum* var. *pratt* 等	60～70
针叶林 (D) Coniferous forest	2700～3700	铁杉 *Tsuga chinensi*、麦吊云杉 *Picea brachytyla*、冷杉 *Abies fabri*、川滇冷杉 *Abies forresfii* 等	60～70
亚高山灌丛草甸 (E) Subalpine shrub and subalpine meadow	2800～3700	大白杜鹃 *Rhododendron decorum*、小叶 子 *Cotoneaster microphyllus*、四川嵩草 *Kobresia setchwanensi* 等	50～70
高山灌丛 (F) Alpine shrub	3700～4000	凝毛杜鹃 *Rhododendron agglutinatum*、金露梅 *Dasiphora fruticosa*、峨眉蔷薇 *Rosa omeiensis* 等	60～70
高山草甸 (G) Alpine shrub	3800～4400	高山嵩草 *Kobresia pygmaea*、高原毛茛 *Ranunculus brotherusii*、丽江风毛菊 *Saussurea likiangensis* 等	60～70
高山流石滩植被 (H) Alpine talus vegetation	4400～5000	风毛菊 *Saussurea* sp .、水母雪莲 *Saussuvea medusa*、梭砂贝母 *Fritillari delavayi* 等	50～70
高山永久冰雪带 (I) Alpine permanent ice and snow zone	> 5000		

Note: 表2、表3、图2、图3中A～I含义同表1 . Mearing of A-I in table 2-3 and figure 2-3 is the same as table 1 .

表2 小相岭山系植被景观斑块的基本特征

Table 2 The basic characteristics of vegetation patch in Xiaoxiangling Mountains

指数 Indices	植被类型 Vegetation types A	B	C	D	E	F	G	H	I	总和 均值 Sum Ave
NP	195	76	323	451	136	412	91	126	39	1849
NP%	10.55	4.11	17.47	24.39	7.36	22.28	4.92	6.81	2.11	100.00
CA (hm^2)	7939	1145	80710	52691	3684	19981	3624	16021	1154	186951
CA%	4.25	0.61	43.17	28.18	1.97	10.69	1.94	8.57	0.62	100.00
MPS (hm^2)	40.71	15.07	249.88	116.83	27.09	48.50	39.83	127.15	29.60	77.18
TE (km)	1302.91	328.32	11563.48	7986.50	766.25	3793.18	760.95	2046.76	255.87	28804.21
ED	3.93	0.99	34.86	24.08	2.31	11.44	2.29	6.17	0.77	9.65
LPI	0.42	0.02	6.2	5.18	0.08	0.4	0.15	0.71	0.09	1.47
PSCV	317.29	77.64	647.32	746.75	134.73	249.47	168.98	286.32	182.00	312.28
PSSD	129.17	11.70	1617.51	872.45	36.49	120.99	67.30	364.06	53.87	363.73

Note: NP：斑块数 number of patch；CA：斑块面积 class area；MPS：平均斑块面积 mean patch size index；TE：斑块周长 total edge；ED：边界密度 edge density；LPI：最大斑块指数 largest patch index；PSCV：斑块面积变异系数 patch size coefficient of variance；PSSD：斑块面积标准差 patch size standard deviation .

表 3　小相岭山系植被景观斑块的形状特征

Table 3　The shape characteristics of vegetation patch in Xiaoxiangling Mountains

指数 Indices	植被类型 Vegetation types								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
LSI	6.66	2.43	51.19	35.67	4.33	17.46	4.30	9.88	2.11
MSI	2.63	2.76	4.21	3.71	2.82	3.27	3.27	3.33	3.10
MPFD	1.15	1.16	1.20	1.19	1.16	1.18	1.18	1.16	1.18
AWMSI	5.42	3.17	27.69	19.63	3.33	6.09	5.09	8.38	4.49
AWMPFD	1.21	1.18	1.35	1.31	1.18	1.23	1.22	1.25	1.21

Note: LSI：形状指数 landscape shape index；MSI：平均斑块形状指数 mean shape index；MPFD：平均斑块分维数 mean patch fractal dimension；AWMSI：面积加权的平均形状指数 area weighted mean shape index；AWMPFD：面积加权的平均分维数 area weighted mean patch fractal dimension .

由表 3 可知，针阔叶混交林的 LSI 值最大，为 51.19；其次为针叶林，为 35.67；说明这两种类型斑块形状偏离规则圆形较远，规则性差。高山永久冰雪带的 LSI 值最小，仅为 2.11，说明在该山系内其斑块形状最为规则，越趋于规则圆形。从 MSI 值来看，针阔叶混交林值最大，为 4.21，说明其斑块形状相对较为复杂；而常绿落叶阔叶混交林和次生落叶阔叶林斑块形状相对简单，仅为 2.63 与 2.76；其他植被斑块形状复杂度相当。从 MPFD 来看，针阔叶混交林值最大，为 1.20，说明其斑块边界最为复杂；针叶林次之，为 1.19；常绿落叶阔叶混交林、亚高山灌丛草甸与高山流石滩植被边界相对最为简单，为 1.16；其他植被类型边界复杂度基本相当。

结合 AWMSI 与 AWMPFD 来看，针阔叶混交林值最大，分别为 27.69 和 1.35，说明其景观格局整体特征与形状最为复杂，受人类活动干扰力度相对较大；而次生落叶阔叶林值最低，分别为 3.17 和 1.18，说明其景观整体特征与形状最为简单，受人为影响相对较小。其他植被类型整体复杂程度介于他们之间。

3.4　斑块的聚集与散布特征

选择反映同种斑块间的相隔距离，揭示景观格局的团聚与分散程度的平均最近距离 MNN、反映同种斑块间的邻近程度以及其景观格局的破碎程度的邻近度指数 MPI 和反映斑块间的镶嵌程度以及斑块分布情况的散布与并列指数 IJI (McGarigal and Marks，1995) 来分析山系内植被斑块的散布特征 (图 2)。

由图 2 可知，高山草甸的 MNN 值最大 (960.56)，说明其斑块聚集程度最高，斑块间距离较近；其次为次生落叶阔叶林，MNN 值为 869.58；常绿落叶阔叶混交林、亚高山灌丛草甸、高山流石滩植被、高山永久冰雪带植被类型 MNN 值相当，其斑块间间距基本相同；而针阔叶混交林、针叶林和高山灌丛 3 种植被类型 MNN 值最小，分别为 84.15、135.15、233.15，斑块最为分散。从 MPI 值可以看出，针阔叶混交林明显大于其他植被类型，值最大 (48 487.23)，说明其连接性最好；其次为针叶林连接性较好，值为 14 778.03，但其连接性相对针阔叶混交林而言仍较低；而次生落叶阔叶林最小 (39.58)，连接性最弱。从 IJI 值可以看出，除针叶林和高山永久冰雪带之外各植被类型相差不大，说明山系内各植被斑块镶嵌程度较好，廊道较少；其中，高山流石滩植被镶嵌度最高为 84.97，而高山永久冰雪带镶嵌度最小，仅为 7.14。

3.5　斑块的多样性特征

为了进一步分析小相岭山系整体植被斑块特征，将其与四川境内的主要林区并且遥感原始影像分辨率相同的唐家河自然保护区 (黄尤优等，2009)、卧龙自然保护区 (曾辉等，2003) 和墨而多山自然保护区进行横向比较分析，结果如图 3 所示。

从图 3 可知，小相岭山系的景观多样性指数、优势度指数、均匀度指数 (McGarigal and Marks，1995) 分别为 1.54、0.66 和 0.67。与其它区域相比，该山系的多样性指数值高于唐家河和墨尔多山自然保护区 (1.41)，仅次于卧龙自然保护区 (1.75)，说明了小相岭山系的植被景观多样性程度较高，景观要素类型丰富。从优势度来看，小相岭山系的值为 0.66，低于唐家河自然保护 (0.89)，但明显高于卧龙 (0.2) 和墨尔多山 (0.54) 自然保护区。这说明该山系优势

植被较为典型，存在基质植被类型。从均匀度来看，它的值（0.67）与墨尔多山自然保护（0.64）值相当，但明显低于卧龙自然保护区（0.90），进一步证实了各植被斑块分配不均、优势植被较为典型的特点。其原因主要是针阔叶混交林、针叶林、高山灌丛、高山流石滩植被在小相岭山系内占一定优势，从而导致均匀度低于多种植被类型并存的卧龙自然保护区。

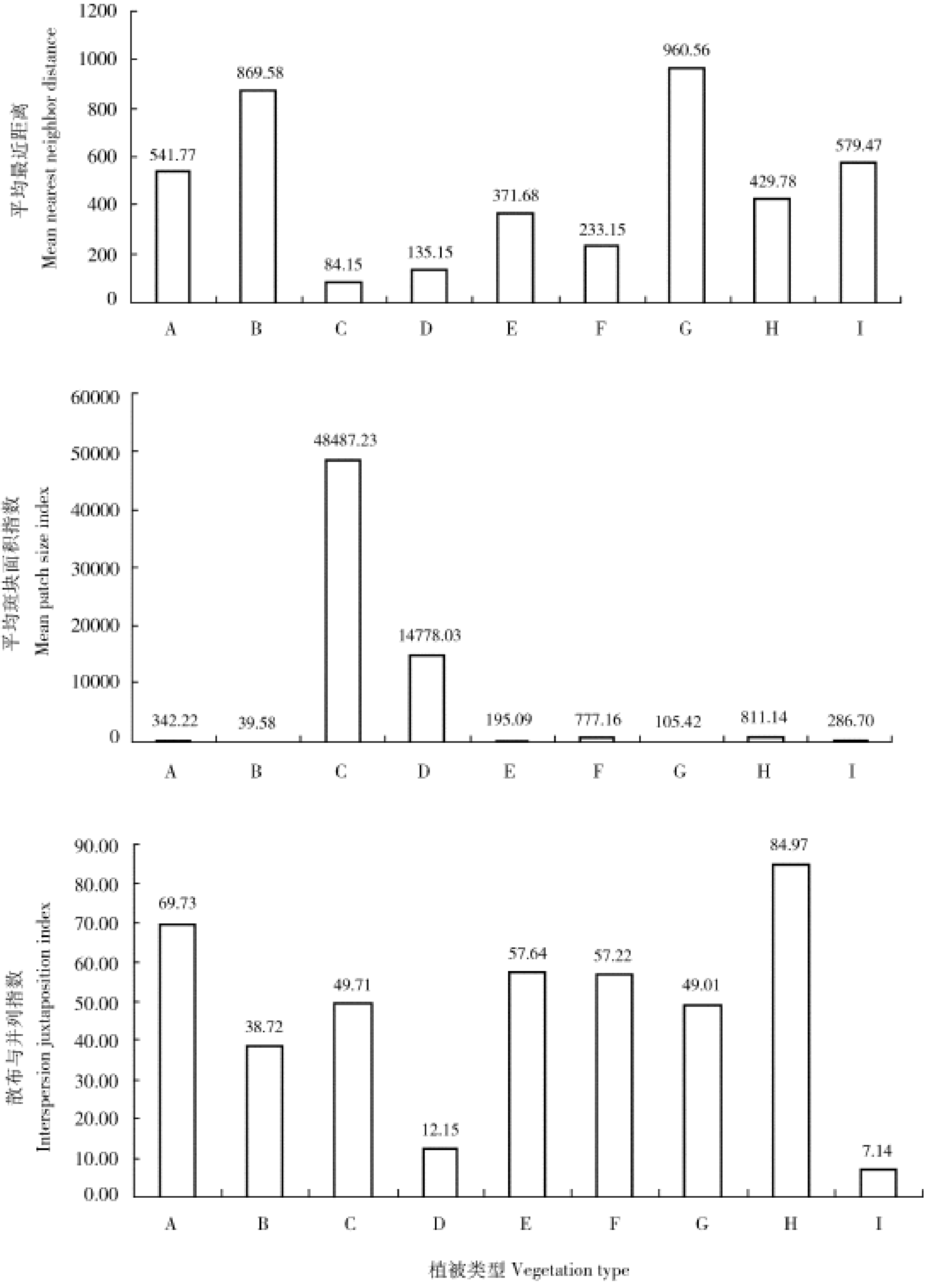

图 2 小相岭山系植被景观斑块的散布特征

Fig. 2 The interspersion characteristics of vegetation patch in Xiaoxiangling Mountains

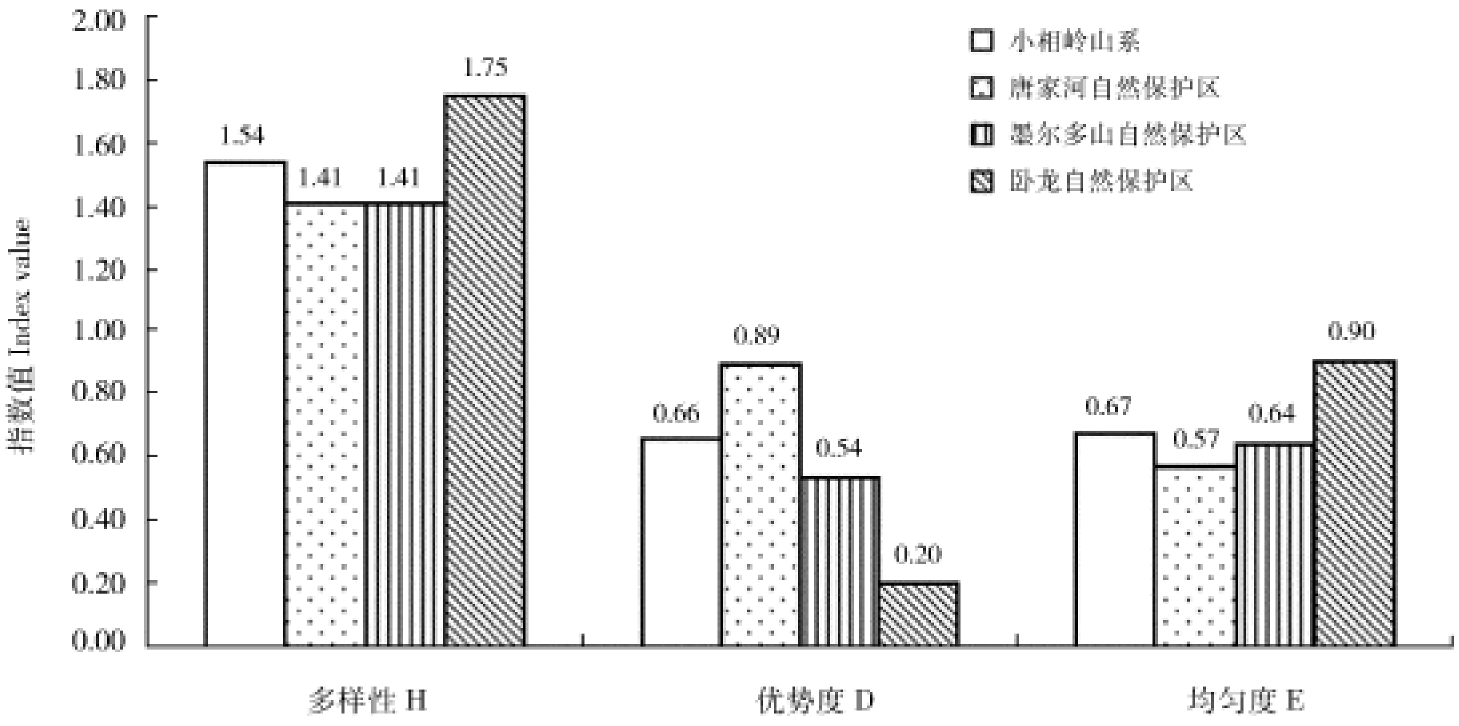

图 3　不同区域的景观多样性、优势度和均匀度指数值

Fig.3　The value of diversity, dominance and evenness in different regions of China

4　结论与讨论

空间斑块性是景观格局最普遍的存在形式，对物种动态、生境、能量转化、物质循环和水文状况等都有直接或潜在的影响（Baskent and Jordan，1995；邬建国等，1992），而且也是生物多样性的重要决定因素之一（邬建国，2000）。因此景观要素的斑块特征对生物多样性保护和森林生境质量的影响日益受到学者们的关注。与众多研究相比，本文更侧重于在景观异质性原理、尺度效应和自然等级理论原理的基础上将 3S 技术与景观生态学相结合，分别从斑块基本特征、斑块形状特征、斑块聚集与散布特征以及多样性特征 4 个方面详细诠释山系森林景观的植被斑块性，一方面弥补众多学者在该领域研究的单一性与片面性，另一方面对传统调查珍稀濒危物种栖息地的生境条件提供精确而简便的考察方法。

研究结果表明：小相岭山系内针阔叶混交林占有绝对优势地位，是山系的基质植被类型；它与针叶林、高山灌丛、高山流石滩植被构成山系植被景观的 4 种主要景观要素，占据该区域的绝大空间。而次生落叶阔叶林分布面积与密度最小，景观地位弱。同时，针阔叶混交林整体景观特征最为复杂，斑块的形状与边界最为复杂；而常绿落叶阔叶混交林形状最为简单，聚集度高；另外，高山草甸斑块聚集程度最高，次生落叶阔叶林连接性最弱。整体而言，小相岭山系植被类型丰富多样、植被错综复杂、是以针阔叶混交林为基质的植被景观分布格局，各植被类型间镶嵌度较好，廊道少。

根据实地植被调查情况，从森林恢复以及保护天然林的长远角度出发，应严禁当地居民生活取材、过度放牧和矿产开发，最大限度地减少对植被带的破坏，特别是在石矿沟和太洋沟海拔 4 000 m 左右的高山草甸带。同时，必须对破坏较严重的针阔混交林和针叶林地区实施植被恢复，以减少廊道的产生。此外，应加强当地居民的宣传教育引导资源的合理利用，避免植被再退化。不仅如此，作者将进一步开展不同时期小相岭植被景观格局的动态变化以及植被景观异质性变化的研究，阐明植被类型动态演替的方向、过程或扩展潜力，揭示人类活动在该植被景观格局动态中的作用，最终实现该区域植被的可持续发展。

〔参　考　文　献〕

邬建国，2000．景观生态学——格局、过程、尺度与等级（第 2 版）[M]．北京：高等教育出版社，20—25

胡锦矗，1990．大熊猫生物学研究与进展［M］．成都：四川科学技术出版社，18—35

党安荣，王晓栋，陈晓峰等，2003．ERDAS IMAGINE 遥感图像处理方法［M］．北京：清华大学出版社，189—219

傅肃性，2002．遥感专题分析与地学图谱［M］．北京：科学出版社，145—159

Baskent EZ, Jordan GA, 1995 . Characterizing spatial structure of forest landscapes [J] . *Canadian Journal of Veterinary Research*, 25: 1830—1849

Bi XL (毕晓丽), Zhou R (周睿), Liu LJ (刘丽娟) *et al.*, 2005 . Gradient variations in landscape pattern along the Jinghe River and their driving forces [J] . *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 25 (5): 1041—1047

Huang HP (黄和平), 2006 . Mosaic structure for closely cultivated vegetation landscape using GIS and RS [J] . *Bulletin of Soil and Water Conservation* (水土保持通报), 26 (4): 28—32

Huang YY (黄尤优), Liu SJ (刘守江), Xu X (胥晓) *et al.*, 2009 . Gradient variations in landscape pattern from northwest to southeast in Tangjiahe Nature Reserve, Sichuan province [J] . *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 31 (1): 49—56

Jiang YH (江永华), Chen BG (陈北光), 2003 . Spatial correlation among vegetation landscape in Baiyunshan Scenic Spot, Guangzhou [J] . *Journal of Moutain Science* (山地学报), 21 (4): 416—421

Liu CR (刘灿然), Chen LZ (陈灵芝), 2000 . Analysis of the patch shape with shape indices for the vegetation landscape in Beijing [J] . *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 20 (4): 559—567

Luck M, Wu JG, 2002 . A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA [J] . *Landscape Ecology*, 17: 327—339

Mander U, Jongman RHG, 1998 . Human impact on rural landscape in central and northern Europe [J] . *Landscape and Urban Planning*, 41: 149—153

McGarigal K, Marks BJ, 1995 . FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure [R] . Reference manual . Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis Oregon, March . 62 pp . + Append, 80—122

Navech Z, Lieberman AS, 1984 . Landscape Ecology, Theory and Application [M] . New York: Springer-Verlag, 23—56

Sun DF (孙丹峰), 2003 . Identifying multi-scale spatial patterns of landscape from wavelet and semivariogram analysis of IKONOS PAN remote sensing date [J] . *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 23 (3): 405—413

Tong C (仝川), Jin L (金蕾), Zhou YL (周延林), 2003 . Analysis on landscape pattern in the Tuoketuo region of Inner Mongolia [J] . *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 14 (1): 85—89

Wu JG, 2004 . Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations [J] . *Landscape Ecology*, 19 (2): 125—138

Wu JG (邬建国), Li BL (李百炼), Wu YG (伍业刚), 1992 . Patchiness and Patch Dynamics: Concepts and Mechanisms [J] . *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 23 (2): 133—135

Wu JG, Shen WJ, Sun WZ *et al.*, 2002 . Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics [J] . *Landscape Ecology*, 17: 761—782

Yi CL (易朝路), Jing CD (景才瑞), 1989 . Characteristics and formation of loess on the fast slope of Xiaoxiangling mountains in the southwest of Sichuan province [J] . *Journal of Central China Normal University* (Natural Science) (华中师范大学学报 (自然科学版)), 23 (4): 557—561

Zeng H (曾辉), Zhang L (张磊), Sun NN (孔宁宁) *et al.*, 2003 . Spatial and temporal variation characteristics of landscape diversity in Wolong Natural Reserve [J] . *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis* (北京大学学报), 39 (4): 454—460

Zhang LQ (张利权), Wu JP (吴建平), Zhen H (甄彧) *et al.*, 2004 . A GIS-based gradient analysis of the urban landscape pattern of shanghai metropolitan region [J] . *Acta Phytoecologyica Sinica* (植物生态学报), 28 (1): 78—85